

Nº 41  
265



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO EN QUEMADURAS DE SEGUNDO GRADO, CICATRIZADAS CON ELECTROESTIMULACION Y YODO POLIVINIL-PIRROLIDONA EN RATAS.

## T E S I S

Que para obtener el titulo de:  
Médico Veterinario Zootecnista  
P r e s e n t a:  
EDGAR CASTILLO ALPIZAR

Asesores:

M.V.Z. Héctor Sumano López.

M.C. Teresa Fortoul van der Goes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE.

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<i>Fisiopatología de la herida</i> .....	1
<i>Cicatrización por primera intención</i> .....	2
<i>Cicatrización por segunda intención</i> .....	3
<i>Complicaciones con la cicatrización</i> .....	5
<i>Quemaduras</i> .....	8
<i>Colágena</i> .....	9
<i>Electroestimulación</i> .....	12
<b>OBJETIVO</b> .....	14
<b>HIPOTESIS</b> .....	15
<b>MATERIAL Y METODOS</b> .....	16
<b>RESULTADOS</b> .....	19
<b>DISCUSION</b> .....	22
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	27

## RESUMEN.

Castillo Alpizar Edgan. Microscopía Electrónica de barrido en quemaduras de segundo grado, cicatrizadas con electroestimulación y yodo polivinil-pirrolidona en ratas. Aseserada por M.V.Z. Héctor Sumano Lopez y M.C. Teresa Fontoul van der Goea.

De acuerdo con datos previos sobre la eficacia de la electroestimulación para estimular la cicatrización de quemaduras, en las que aparentemente se logra regeneración tisular, se consideró de utilidad evaluar la electroestimulación de quemaduras de segundo grado mediante Microscopía Electrónica de barrido. La electroestimulación se aplicó con una densidad de carga diaria de 0.01 Amps, equivalente a un total de .066 Coulombs/cm<sup>2</sup> con corriente alterna y una forma del electroestimulo en espiga (+ y -), utilizando como grupo testigo a dos grupos mas, uno tratado con yodo polivinil-pirrolidona y otro sin tratamiento. Adicionalmente se incluyó un grupo de ratas no lesionadas. Las quemaduras se realizaron en 12 ratas por grupo (bajo anestesia y con un método previamente estandarizado). A los 20 días se les sacrificó y se evaluó tensimetría, procesando 6 muestras por grupo; las 6 muestras restantes se utilizaron para microscopía de luz y de barrido, analizando los bordes de las heridas y la parte media. Las imágenes obtenidas para el grupo electroestimulado son compatibles con un proceso de regeneración, dado que la distribución de las fibras de colágeno, el grosor de las mismas y la presencia de estructuras anexas es en extremo, similar a la piel no lesionada. Los grupos testigos ofrecen una imagen de cicatrización por reparación. Se pondera la posible utilización de la electroestimulación en la clínica.

## INTRODUCCION.

Una de las múltiples acciones o tareas que se realizan en la medicina es el ayudar a curar heridas; aunque falta - mucho para encontrar la alternativa ideal para cada caso - (38), de ahí la necesidad de buscar nuevos enfoques a este viejo problema siendo esta área de gran importancia en la - medicina en general y en especial en la clínica terapéutica y la cirugía.

### *Fisiopatogenia de la herida.*

A una herida se le define como una solución de continuidad en los tejidos con un grado de desvitalización tisular y pérdida de sustancia (50,54). La cicatrización en términos generales conlleva al reemplazo del tejido necrosado con el depósito de fibrina, la migración inicial de fibro--blastos, producción de colágena, proliferación de células - endoteliales y la atracción de leucocitos por factores quimiotácticos (62). La reparación es el proceso por medio del cual es restituida la continuidad y en ocasiones, incluso la morfología y la función de los tejidos que han sido lesionados o destruidos. La reparación puede llevarse a cabo por medio de regeneración o bien por cicatrización. Se considera regeneración cuando el espacio tisular que dejan las

células destruidas es ocupado por otras células semejantes a las desaparecidas, restituyéndose no sólo la continuidad sino también la morfología y la función del tejido que sufrió la agresión. En los casos en los que el espacio es llenado por tejido fibroso se habla de cicatrización (65).

En todas las especies la cicatrización se ha clasificado como de primera o segunda intención de acuerdo a las siguientes características:

*Cicatrización por primera intención.*

La cicatrización por primera intención se refiere a una herida en la cual sus bordes pueden ser puestos en contacto a través de suturas y no hay bordes libres de tejido subepitelial, por lo que no se forman cavidades. Este tipo de cicatrización ocurre por medio de procesos como inflamación, migración de fibroblastos, producción de colágena y epitelización (62,65).

Inmediatamente después de producida la herida, se estimula el proceso de coagulación que comprende factores humorales y respuestas celulares. La principal respuesta celular relacionada con la cicatrización está dada por la interacción de las plaquetas con la trombina y la colágena. Una vez terminado este proceso, aparecen en la herida los primeros polimorfonucleares neutrófilos y después los monocitos

sanguíneos, los cuales al entrar a la región de la herida - se transforman en macrófagos y son los responsables de fagocitar el tejido necrótico de la misma (22,43). Después de unas horas, los neutrófilos invaden la zona en grandes cantidades por uno o dos días, disminuyendo rápidamente si no aparece una infección concomitante. Los macrófagos permanecen en el sitio de acción por varias semanas (38).

Los fibroblastos y capilares sanguíneos aparecen en la herida poco después que los leucocitos. En incisiones lineales, los fibroblastos inician su aparición el primer día, - alcanzando su máximo número entre los siete y diez días; - los capilares siguen su curso de manera similar. Los fibroblastos son los responsables de la formación de los componentes del tejido conectivo, específicamente colágena y glucosaminoglicanos, y más tarde de las fibras elásticas (38). Los capilares se encargan de abastecer nutrientes y leucocitos a la zona de la herida.

#### *Cicatrización por segunda intención.*

La cicatrización por segunda intención ocurre en una herida abierta, en donde la lesión ha causado una pérdida - excesiva de tejido y los tejidos en esta área no son capaces de regenerarse lo suficiente para lograr una total recuperación, por lo que esta herida será reparada por segunda

intención, la cual no da un resultado deseable estética y - funcionalmente hablando (50,54,62).

La cicatrización por segunda intención comienza a partir del momento de la hemorragia asociada a la herida, donde dicha hemorragia produce un coágulo con una matriz de fibrina, la cual se seca y se contrae actuando hasta cierto punto como pegamento para mantener el coágulo en la superficie del tejido (22). El coágulo y la costra brindan una protección mecánica inmediata, aunque relativamente pobre contra la invasión de materiales extraños como polvo o bacterias.

La reacción inflamatoria empieza a aparecer en un periodo bastante corto cuya severidad depende de la extensión de la herida. La primer línea de defensa celular son los - neutrófilos (38,54).

Después de cuatro a seis horas. las células epitelia-- les en los bordes de la herida empiezan a acumular gránulos de glucógeno y cuatro a seis horas después aparecen fases - mitóticas en las capas basales del epitelio.

Dentro de un periodo de 24 a 36 horas se hacen evidentes los primeros signos de actividad proliferativa de tejido conectivo, los cuales consisten en la división de fibroblastos y células endoteliales, siendo los primeros los que constituyen la mayor parte del tejido de granulación, el -- cual tiene un papel primordial en la cicatrización, ya que



es altamente vascular y extremadamente resistente a la infección por gérmenes piógenos, además en última instancia se transformará en tejido cicatrizal (17).

A medida que el tejido de granulación va llenando la cavidad de la herida, las partes más activas se organizan de tal forma que los fibroblastos que se van quedando atrás sintetizan más colágena alrededor de ellos mismos y la colágena fibrilar se polimeriza a partir de la tropocolágena extracelular. Pasado algún tiempo, se deposita más colágena y proteoglicanos en relación con las células que están presentes. Finalmente el aporte sanguíneo tiende a disminuir. Durante el proceso de resolución y remodelación para formar la cicatriz final, el tejido de granulación se va transformando en una masa prácticamente carente de células; la mayoría de los fibroblastos y capilares desaparecen (38).

#### *Complicaciones con la cicatrización.*

Evidentemente uno de los problemas más comunes que se presentan en la clínica veterinaria con respecto a las heridas, es la dificultad para lograr una cicatrización adecuada de las mismas. A menudo, estas heridas se infectan por bacterias piógenas lo que puede producir reacciones inflamatorias más severas que las que deberían de presentarse (54,62), o bien que las toxinas producidas por las bacterias

que sean capaces de inhibir la cicatrización (9,34,49). Es más, se considera que si las vesículas presentes en las que maduras no son debridadas, éstas sirven como fuente potencial de nutrientes para gérmenes plógenos (28).

A la fecha se ha postulado que la cicatrización de heridas de curso difícil puede promoverse con la aplicación - de antisépticos cutáneos como: soluciones yodadas (yodo polivinil-pirrolidona) y preparados de metales pesados (Hg, Au etc.) (7,24). Y además, se ha postulado que tales prácticas disminuyen el tiempo de cicatrización y aumentan la llamada fuerza de cohesión de los bordes de la herida (11,49). Sin embargo se ha demostrado que el uso de antisépticos no resulta ideal en todos los casos para la cicatrización, debido a que en heridas situadas en la región abdominal, es más fácil la infección a pesar del uso de un antiséptico (7).

Bajo condiciones de poca contaminación los eventos primarios dentro de la cicatrización ocurren rápidamente y logran una reparación satisfactoria. Desafortunadamente, no - todas las heridas cicatrizan en forma adecuada, especialmente en condiciones de fácil contaminación como a las que se enfrentan las especies domésticas. Además, existen muchos - otros factores que pueden limitar la calidad y la velocidad de cicatrización, tales como:

- Presencia de tejido necrótico como en las quemaduras

de segundo grado (57).

- Desarrollo de infecciones y disminución de la síntesis de colágena (5).

- Factores mecánicos v.g. jalonéo constante en articulaciones.

- Sitio anatómico v.g. áreas poco irrigadas o en contacto con la cama.

- Presencia de otros tejidos como serosas, membranas, omentos, etc.

- Presencia de cuerpos extraños v.g. parásitos, espinas, madera, hueso, etc.

- Presencia de células tumorales (27,36).

- Desequilibrio entre el crecimiento de tejido conectivo y tejido epitelial (típico en caballos) (1).

- Irritación persistente por roce.

- Traumatismo extenso en otra área e impedimento para sintetizar colágena.

- Desnutrición protéica y enfermedades endócrinas v.g. Síndrome de Cushing, por la deficiente síntesis de colágena (35,36).

- Aplicación errónea de fármacos que inhiban la síntesis de colágena o que produzcan efectos secundarios indeseables v.g. antibióticos; nitrofurazona (42,53); fenitoina en gato (35) induce colagenólisis.

### *Quemaduras.*

Otro problema en el terreno de la cicatrización son las quemaduras; éstas se clasifican clínicamente en tres grados. El primero incluye únicamente la epidermis con un daño mínimo a otros tejidos y se caracteriza por la presencia de eritema, edema moderado, dolor marcado que tiende a desaparecer en un lapso de 24-72 horas y que cicatriza por completo en aproximadamente 10 días.

Las quemaduras de segundo grado abarcan toda la epidermis y profundidad variable en la dermis, sin llegar a dañar la capa germinal; se presenta una ampolla con edema marcado, dolor moderado, presencia de un proceso exudativo y eritema marcado en el área. El tejido necrosado facilita la proliferación bacteriana y el proceso de cicatrización incluye además de regeneración, reparación, por lo que queda una cicatriz aparente, dependiendo de la severidad de la quemadura y de si hubo o no infección (17,24,39).

Las quemaduras de tercer grado o de espesor total, destruyen el epitelio germinal y las placas necrosadas no generan ampolla, excepto en las orillas de la quemadura. La falta de irrigación debida a la anaerobiosis del tejido quemado, provoca la proliferación de infecciones anaeróbicas. Dado que el epitelio germinal está destruido se deben juntar los bordes sanos de la herida mediante un proceso de granula

ción y contracción de la misma, que provoca deformidades y pérdida de la función (17,28,50,61).

### *Colágena.*

La colágena es una proteína que se compone de fibras y éstas a su vez de microfibrillas, las cuales se encuentran constituidas por material elástico en forma de cadenas polipeptídicas de más de 1000 aminoácidos formando una triple hélice. Hay más de 7 moléculas de colágena diferentes, pero las que se encuentran con mayor frecuencia en la piel son - la Tipo I (que constituye cerca del 85% de la colágena total), la Tipo III y la Tipo II (16, 36,38).

Se reconoce que las células de diferentes estirpes migran a través de matrices constituidas principalmente por - colágena, que químicamente está definida como un glucosaminoglicano y que la interacción entre estas proteínas y las células que migran, se realiza de una manera específica y con un elevado nivel de "idea" estructural. De esta observación se desprende que la colágena, es esencial para permitir la reparación o regeneración de una estructura, como es el caso de la piel (25). El papel de los glucosaminoglicanos - como sostén de la migración es análogo a la migración de células durante el desarrollo embrionario (31,46,64); o bien a la migración de células tumorales (63).

Se sabe que la colágena representa cerca de un 75% de los componentes de la piel, entonces es lógico pensar que - la proliferación de esta proteína permitirá la migración de células vecinas y una reepitelización adecuada para facilitar la regeneración de los tejidos. Más aun, se ha dicho - que los eventos de una cicatrización no complicada de una herida se asemejan mucho a los descritos para la generación de estroma en tejidos invasivos como los tumorales (26,63). Así, en la inflamación de un tejido dañado el fibrinógeno - se extravasa y se deposita fibrina en las heridas como resultado de la lesión local a los vasos del área y quizá en forma secundaria a la secreción de mediadores de la inflamación. Al igual que en la generación de estroma para la migración y proliferación de células tumorales, se deposita un gel de fibrina en el tejido lesionado y este resulta invadido por macrófagos y fibroblastos. Hay formación de nuevos vasos - sanguíneos y finalmente el área es sustituida por tejido de granulación que posteriormente dará lugar a un tejido conectivo maduro (43). Resulta evidente de esta secuencia que - uno de los pasos más importantes para la cicatrización es - la angiogénesis, en relación a la cual se han encontrado algunos factores que la promueven (12,31).

Por otro lado se ha visto que las proporciones de colágena cambian de acuerdo con el tejido analizado y con el

el tiempo, aunque hasta ahora no se sabe a que se deben estos cambios y su función dentro del organismo (16,33,44).

También se desconoce como afectan las proporciones en la densidad de los diferentes tipos de colágena a la homeostasis de un tejido, pero se piensa que la cantidad de colágena en una herida afecta evidentemente al proceso de cicatrización (16,38).

Como se señaló, aproximadamente el 75% de la piel está constituida por colágena y ésta le da notable elasticidad y fuerza de cohesión. Se ha observado que las fibras de colágena están alineadas estratégicamente hacia lugares de tensión en la piel en múltiples paquetes, dando pequeñas variaciones en los valores tensiométricos de cada punto (16,33,38). Se ha visto que el acomodo de las fibras de colágena es lineal en grandes haces y con la cicatrización hay entre cruzamiento excesivo de fibras delgadas, lo que hace a la fibra menos resistente (29,33).

De cualquier manera, durante el proceso de reparación de las heridas se requiere del desarrollo de matrices extracelulares que permitan en términos puramente físicos, la migración de células epiteliales y otros componentes de la piel. Las matrices extracelulares pueden ser descritas como una trama que está unida de manera covalente y que se expande en el fluido extracelular. El estudio de estas matrices

ha dado lugar a la síntesis de algunos copolímeros de glucosaminoglicanos útiles como matrices en el tratamiento de quemaduras (18,25,67,74). Sin embargo, se ha propuesto que la fuerza de cohesión de los bordes de una herida se basa principalmente en la carga de resistencia de la trama entre la reticulina y los miofibroblastos que enlazan las margenes de las heridas. Pero aun no se conoce con exactitud la naturaleza química de esta reticulina, aunque se especula que consiste en fibronectina, colágena Tipo III y algunos otros componentes (71).

#### *Electroestimulación.*

El uso de la electricidad para fines curativos, se remonta a principios de siglo y fue practicado por médicos de todo el mundo. A pesar de los resultados de que se tiene informe eran alentadores, el uso de la electricidad como método curativo sufre un rezago hasta los ensayos clínicos de Assimacopoulos (4). Aun así, transcurren muchos años para que se intenten reproducir los resultados. No obstante, la investigación que se desarrolla en el área es muy intensa, como se puede apreciar en la tabla 1, donde se han compilado buena parte de los trabajos realizados en los últimos años.

En la literatura especializada en materia de cicatriza



ción se encuentran informes contradictorios sobre el efecto de la electricidad en el proceso de cicatrización. Por ejemplo, los hallazgos de Abolafia y Col. (1), Brown y Col. (15) sugieren que la electroestimulación de heridas facilita el proceso de cicatrización; mientras que Steckel y Col. (57) no encontraron efectos positivos, considerándolo incluso - perjudicial. Más aun, existen informes en los que no se encuentra efecto alguno sobre las heridas (26).

En nuestro medio y mediante una larga serie de trabajos experimentales, se ha observado que el proceso de cicatrización se facilita cuando se aplica un campo eléctrico en torno a una herida, además de aumentar la fuerza de cohesión - (1,2,3,10,13,14,15,19,20,23,30,32,40,45,47,48,51,53,55,58,-59,60,69,71,73). En todos estos casos, se ha demostrado de manera indirecta que existe un acomodo más lógico o estratégico de la colágena y quizá mayor densidad en las heridas - así cicatrizadas (2,36,40,48,59). Sin embargo, se ha postulado que mediante el uso de la microscopía electrónica de - barrido (MEB), como método de estudio y análisis en donde - la imagen tridimensional brinda evidencia irrefutable del acomodo de las fibras de colágena, se puede analizar este fenómeno (33,34). Los métodos tensiométricos sólo brindan evidencia indirecta de la eficiencia de un método o de la calidad de reparación de una herida (41,72).

## **OBJETIVO**

Evaluar mediante microscopio electrónico de barrido si las heridas electroestimuladas brindan una mejor imagen de la colágena, y medir su comportamiento desde el punto de vista tensiométrico, en comparación con la cicatrización lograda con el uso de yodo polivinil-pirrolidona y sin tratamiento.

## **HIPOTESIS.**

Si quemaduras de segundo grado son estimuladas mediante un campo eléctrico, entonces presentarán un mejor comportamiento en la prueba de tensiometría así como un mejor acomodo de las fibras de colágena en comparación con quemaduras tratadas con yodo polivinil-pirrolidona y sin tratamiento.

## MATERIAL Y METODOS.

Se utilizaron 44 ratas macho de la cepa Spreague Dawley, con pesos que fluctuaron de 250 a 300g, las cuales se alojaron en grupos de cuatro animales en cajas de acrílico-transparente en fondo sólido bajo condiciones abiertas (21), alimentación a libre acceso con alimento comercial balanceado y se les dividió de la siguiente manera:

*Grupo A:* 12 animales que fueron electroestimulados a una frecuencia de 67Hz, con una corriente de .020Amps y un voltaje de salida de 150mV durante 20 minutos, colocando agujas de acupuntura en los cuatro puntos cardinales de la herida una vez al día durante 20 días.

*Grupo B:* 12 animales que fueron tratados con yodo polivinil-pirrolidona (Isodine)\* cubriendo generosamente la herida dos veces al día durante veinte días.

*Grupo C:* 12 animales que no fueron tratados pero si se les provocó la herida.

*Grupo D:* 8 animales a los que no se les provocó la herida y sirvieron como testigos.

Previo a la producción de las quemaduras, las ratas se anestesiaron con pentobarbital sódico, se rasuraron y depilaron en el dorso. Siguiendo el método de Walker y Masson (68) se produjeron quemaduras de segundo grado en una super-

\* Isodine. Norwich Pharmacal Co. de México S.A. de C.V. Reg. S.S.A. 59209.

ficie corporal de aproximadamente el 4% de acuerdo con la fórmula:  $SC = KW^{2/3}$ .

(K= constante de 10; W= peso del animal; SC= superficie corporal).

Después de veinte días se sacrificaron las ratas con éter en cámara cerrada y la mitad de cada grupo de éstas (grupos A, B, C) se sometieron a un estudio comparativo de tensiometría, de acuerdo con lo descrito por Worlasky y Prudden (72), el cual se realizó mediante un aparato que aplica una fuerza creciente sobre la herida, por medio de una bomba de baumanómetro aumentando la tensión hasta abrir la herida.

El resto de las ratas se sometieron a un estudio comparativo con métodos rutinarios de histopatología (con tinción de H y E y Tricrómica de Mason) y otra parte de las muestras a un estudio con microscopio electrónico de barrido, para ambos casos los tejidos se fijaron en glutaformol.

**Microscopía Electrónica de Barrido.**— Una vez fijado el tejido en glutaformol por 24 hs se sumergió en solución amortiguadora de fosfato de sodio al 0.1M pH 7.4 por una hora, tiempo durante el cual se separó el músculo subcutáneo de la dermis con técnicas de microcirugía, para evitar una contracción y deformación de las muestras.

Posteriormente se realizaron 5 lavados con solución

amortiguadora de fosfatos, para después deshidratar con etanol a concentraciones crecientes de 50, 70, 80, 90 y 100% por 10 minutos en cada uno y posteriormente deshidratar con bióxido de carbono por la técnica de punto crítico. A continuación se montaron los tejidos en un portaespecímenes de aluminio adhiriéndolos con pintura de plata. Finalmente se cubrieron con oro ionizado en una evaporadora a 2.4Kv por 10 minutos\*.

\* Comunicación personal del Biol. Armando Zepeda R. Técnico en microscopía electrónica de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## RESULTADOS.

Se llevaron a cabo un total de 36 ensayos de cicatrización, evaluando las características del tejido cicatrizal - con microscopía electrónica de barrido (MEB) en 9 muestras y 3 de piel normal. En las figuras 1-8 se presentan las características clave de la cicatrización de las heridas para los grupos tratados con electroestimulación (EE), con yodopolivinil-pirrolidona (YPP), sin tratamiento (ST) y piel normal en micrografías comparativas y representativas a diferentes aumentos. Para contrastar los resultados de MEB, en las figuras 9-15 se muestran las imágenes obtenidas por microscopía de luz a diferentes aumentos.

Las características de las observaciones se resumen en el cuadro 1 para los hallazgos en MEB y en el cuadro 2 para los datos obtenidos por microscopía de luz. Las diferencias son tan evidentes, que no se consideró procedente la evaluación por observadores independientes de manera ciega.

Macroscópicamente se observó que las ratas electroestimuladas presentaron una herida más hiperémica que las ratas ST, además de presentar una costra más sólida y menos voluminosa durante el proceso de cicatrización, solo una rata presentó restos de una posible infección. Ocho ratas del grupo terminaron el experimento sin escara y con datos de

cicatrización completa al cabo de 20 días.

Un 66% de las ratas del grupo B formaron una costra grande y dura; el 17% de las ratas presentaron infección al inicio del tratamiento y el 17% terminaron sin escara.

Las ratas del grupo C presentaron una herida menos hiperémica y hubo 4 casos de infección, la cual persistió por más de 10 días; la costra era gruesa y deforme. En algunos casos de estos dos últimos grupos la cicatrización fue incompleta.

El espesor de la piel y la arquitectura (a bajo aumento) se pueden comparar en la figura 1: A) Piel normal; B) Piel electroestimulada; C) Piel tratada con yodopolivinil--pirrolidona; D) Piel sin tratamiento.

El entrecruzamiento de los paquetes de colágena es mayor en el grupo ST y YPP; en piel normal es nulo, y escaso en la piel EE, ya que se aprecian pequeños entrecruzamientos de microfibrillas entre los paquetes de colágena. Además, el grosor de los paquetes de colágena es diverso en los grupos ST y YPP y más homogéneo en el grupo EE (Fig. 2).

La dirección que presentan los paquetes de colágena es diversa en piel normal y en la piel EE, al compararse con lo observado en la piel YPP y ST, en las que además los paquetes no están bien unidos entre sí y el entrecruzamiento resulta muy evidente (Figs. 3 y 4)



La disposición de las microfibrillas en los paquetes resulta más estrecha en la piel EE, lo que sugiere una consistencia más firme en general; no así en la piel YPP, donde las microfibrillas se observan menos unidas. Aún más, en la piel ST se observan más separados en algunos sitios y demasiado unidos en otros, lo que da una consistencia variable en el paquete (Fig. 5).

La presencia de numerosas células descamadas indica un alto grado de recuperación en la piel; esto se encontró en la piel EE, a diferencia de lo observado en los otros tratamientos (Figs. 7 y 8).

Los resultados de la tensiometría se resumen en el cuadro 3, donde se pueden observar variaciones importantes en los valores obtenidos, siendo los mayores los del grupo EE, con una diferencia altamente significativa al compararlos con los otros grupos mediante una prueba "t" de Student ( $P < 0.01$ ).

## DISCUSION.

La metodología que se utilizó para electroestimular a las ratas en este diseño, se puede ajustar a los criterios sugeridos por Reich y Tarjan (47). Quienes acumularon la evidencia experimental lograda en más de veinte experimentos importantes sobre el tema. En dicho trabajo se sugiere que para estandarizar el lenguaje en el cual se emiten los resultados sobre electroestimulación, se cumplan con una serie de datos como requisitos mínimos, como los que se presentan en la tabla 1 y figuras 16 y 17. En esta tabla se agregan los datos del presente diseño, para que de manera comparativa se les sitúe dentro del ámbito de la investigación sobre electroestimulación. En este sentido se puede decir que se ha obtenido un resultado superior al reportado por todos los autores ahí citados, con un mecanismo de regeneración tisular no mencionado en ningún caso. Es muy factible que esto se deba a las características especiales del electroestimulo que puede analizarse de la siguiente forma:

Desde el punto de vista de densidad de corriente administrada, se le puede calcular multiplicando la cantidad neta de corriente en miliamperios y dividiéndola por el área promedio de la lesión y en este sentido, los datos del presente diseño corresponden a:

$$DCA = \frac{\text{Amperaje}}{\text{cm}^2} = \frac{.020\text{mAmp}}{\text{cm}^2} = .01 \text{ Amps/cm}^2$$

$$DC = \frac{\text{mV}}{\text{cm}^2} = \frac{300\text{mV}}{\text{cm}^2} = 150\text{mV/cm}^2$$

Si se considera que el factor tiempo puede modificar la cantidad de energía dosificada, se puede recurrir a la siguiente expresión:

$$DA = (\text{Coulomb/cm}^2) = DC \times Tt.$$

En este caso corresponde a los siguientes datos:

$$DA = .01 \times 6.6\text{hrs} = .066\text{Coulomb/cm}^2.$$

Este dato se ubica dentro del contexto general de la investigación en el área, como un electroestímulo de magnitud similar a otros que han resultado ser de gran eficacia cicatrizante, como lo demuestra la fig. 17; en la que se ubican: en el eje de las "Y", las densidades de corriente (expresadas en «Amps/cm<sup>2</sup>») y en el eje de las "X" se presenta la carga absoluta transferida (expresada en Coulombs/cm<sup>2</sup>). Solo 6 experimentos se ubicaron a la derecha con un nivel superior a lo considerado como eficaz. Las implicaciones son evidentes: un exceso de electricidad no resulta benéfico para la cicatrización y los notables resultados aquí ob-

tenidos siguen aproximadamente los límites inferiores de la eficacia de la figura propuesta por Reich y Tarjan (47).

En cuanto a los datos de la tensiometría, este estudio al igual que otros realizados en el Departamento de Fisiología y Farmacología de la FMVZ-UNAM, demuestran que existe un notable aumento de la cohesión del proceso cicatrizal en el grupo electroestimulado y que dicha diferencia es altamente significativa ( $p < 0.01$ ). Esto resulta congruente con las imágenes de piel regenerada que se perciben en el estudio ultrestructural por barrido (figs. 1-8), donde a diferentes magnitudes se puede percibir el ordenamiento de los paquetes de colágena distribuidos de manera muy semejante a lo observado en piel normal. En contraste, en la piel tratada con yodo polivinil-pirrolidona hay un notable cambio en las fibras en cuanto a dirección y orden de los paquetes y de las microfibrillas de colágena, lo que evidentemente disminuye en un 51%. En el grupo sin tratamiento, la dirección y el desorden de éstas, presenta una imagen de inflamación no resuelta que puede considerarse poco estratégica desde el punto de vista mecánico. Los resultados obtenidos concuerdan con el postulado de Forrester (33), quien informó que la imagen tridimensional del proceso cicatrizal arrojaba mucho más información sobre la fuerza de cohesión de una herida que una observación histopatológica normal e incluso que un

modelo de tensiometría como el desarrollado en este ensayo de acuerdo con la metodología propuesta por Worlasky y Prudden (72); adicionalmente, este ensayo demuestra que es posible la regeneración.

Algunos aspectos notables de las imágenes obtenidas con microscopía electrónica de barrido incluyen diversos capilares que se encontraron en tejido regenerado por electroestímulo; en este sentido, se puede especular favorablemente acerca del efecto de este tipo de terapias sobre los factores angiogénicos; aunque cabe hacer énfasis en que esta aseveración requiere de una sustentación experimental posterior, pero no deja de ser congruente un aumento de la vascularización con el proceso regenerativo propuesto. De cualquier manera parece atractivo pensar que existen posibilidades de mejorar la calidad y no sólo la velocidad de  cicatrización con un método eléctrico. Visto en perspectiva, puede pensarse que un hallazgo de estas características tiene algo más que un valor relativo si se le contempla desde la perspectiva tanto del médico veterinario como del médico cirujano, ya que, una terapia con electroestimulación puede encontrar aplicación en viejos problemas de la medicina; por ejemplo: sólo en Estados Unidos hay 2.5 millones de quemaduras, 30 millones de laceraciones y 6 millones

de abrasiones cada año que requieren de asistencia médica y las quemaduras por sí solas son una de las causas más comunes de accidentes infantiles en Latinoamérica (47). Además, existen procesos patológicos que requieren una asistencia cicatrizal adicional como serían el complejo vascular de pierna en el que las úlceras, el dolor y la pobre irrigación inhabilitan al paciente; las heridas en los diabéticos que a menudo terminan en amputaciones, así como úlceras varicosas y quemaduras por radioterapia; las complicaciones de cirugía y otros procesos similares que aguardan nuevas alternativas de cicatrización (12).

Se ha reunido suficiente evidencia con la técnica de electroestimulación ensayada en el Depto. de Fisiología y Farmacología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia como para sugerir el paso a ensayos clínicos en el hombre a fin de evaluar el posible efecto de la electroestimulación en las patologías mencionadas y en su caso incorporar este elemento al uso en la clínica cotidiana.

## LITERATURA CITADA.

- 1.- Abolafia, A. J., Sumano, L. H., Navarro, F. R. y Ocampo, C. L.: Evaluación del efecto cicatrizante de la acupuntura. Vet. Mex., 16: 27-31 (1985).
- 2.- Al-Sadi, H. I., Shanain, A. H., Al-Mufti, B. I. and Amod, A. N.: Effects of ultrasonic therapy on wound healing. Canine Prac., 11: 50-55 (1984).
- 3.- Alvarez, O. M., Mertz, P. M. and Smerbeck, R. V.: The healing of superficial skin wounds is stimulated by external electrical current. J. Invest. Dermatol., 81: 144-148- (1983).
- 4.- Assimacopoulos, D.: Low intensity negative electric current in the treatment of ulcers of the leg due to chronic venous insufficiency. Am. J. Surg., 115: 683-687 (1968).
- 5.- Baeza, S. I. F.: Acción farmacológica, antiséptica y queratoplástica de la planta (Aloe vera) micropulverizada en aplicaciones tópicas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. México, D.F. (1979).

6.- Barron, J. J., Jacobson, W. E. and Tidd, G. T.: Treatment of decubitus ulcers: a new approach. Minn. Med., 68: 103-106 (1985).

7.- Block, S.: Historical review disinfection, sterilization and preservation. Edited by: Laurence, A. C. and Block, S. 3-8. ed. Lea Febriger. Philadelphia. 1968.

8.- Bolton, L., Foleno, B. and Means, B.: Direct current bacteriacidal effect on intact skin. Antimicrobial agents chemother., 18: 137-141 (1980).

9.- Bolton, L., Foleno, B. and Means, B.: The effects of direct current stimulation on microorganisms in repairing wounds. Trans. Bioelec. Rep. Gro. Soc., 1: 70 (1981).

10.- Borgens, R. B., Roederer, E. and Cohen, M. J.: Enhanced spinal cord regeneration in lamprey by applied electric fields. Science, 213: 611-617 (1981).

11.- Branemark, I. P., Alberechtsson, B., Lindstrom, F. and Lundborg, G.: Local tissue effects of wound disinfectants. Acta Chir. Scand., 357: 166-176 (1966).



12.- Branwald, E., Isslbacher, K. J., Petersdorf, R. G., Wilson, J. B., Martin, J. B. and Fauci, A. J.: Harrison's principles of internal medicine. 11th ed. McGraw-Hill. Boston, 1987.

13.- Brown, M. and Gogia, P.: Effects of high voltage galvanic stimulation on wound healing. Phys. Ther., 66: 748 (1986).

14.- Brown, M. and Gogia, P.: Effects of high voltage stimulation on cutaneous wound healing in rabbits. Phys. Ther. 67:662-667 (1987).

15.- Brown, F., McDonnell, R., Menton, D. N.: Electrical stimulation effects on cutaneous wound healing in rabbits. A follow-up study. Phys. Ther., 68: 955-960 (1988).

16.- Burgeson, E. R.: New collagens, new concepts. Ann. Cell. Biol., 4: 551-576 (1988).

17.- Burke, J. F.: Fisiología de las heridas. En Cicatrización de las heridas, editado por Hunt, T. K. 243-254. Manual Moderno. México, D.F. 1983.

18.- Burke, J. F., Yannas, I. V., Quinby, W. C. Jr., Bondoc, C. C. and Jung, W. K.: Primary excision and immediate wound closure. Ann. Surg., 194: 413-428 (1981).

19.- Burr, H. S., Harvey, S. C. and Taffel, M.: Bioelectric correlates of wound healing. Yale J. Biol. Med., 2: 103-107 (1940).

20.- Carley, P. J. and Wainapel, S. F.: Electrotherapy for acceleration of wound healing: low intensity direct current. Arch. Physiol. Med. Rehabil., 66: 443-446 (1985).

21.- Castillo, R. R. y Villalobos, O. G.: Estudio comparativo de la situación actual de los bioterios en México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautlán. UNAM. México, 1987.

22.- Clark, R. A. F. and Colvin, R. B.: Wound repair plasma fibrinogen structure and function. Edited by: McDonaoh, 197-262, Marcel Dekker. New York, USA, 1985.

23.- Davis, S. C., Cazzaniga, A. and Reich, J. D.: Pulsed electrical stimulation: the effect of varying polarity. J. Invest. Dermatol., 92: 418 (1989).

24.- Davis, B. D. and Dubelco, R.: Microbiology. 3rd. ed. Harper and Raw. Philadelphia, 1980.

25.- Docherty, R., Forrester, J. V., Lackie, J. M. and Gregory, D. W.: Glycosaminoglicans facilitate the movement of fibroblasts through three-dimensional collagen matrices. J. of Cell. Science, 92: 263-270 (1989).

26.- Dueland, R., Hoffer, R. E., Seleen, W. A. and Becker, R.: The effects of low voltage current of healing of thermal third degree wound. Cornell Vet., 69: 51-59 (1978).

27.- Dvorak, H. F., Form, D. M., Manseau, E. J. and Smith, B. D.: Pathogenesis of desmoplasia: Immunofluorescence identification and localization of some structural proteins of line 1 and 10 Guinea pig tumors and of healing wounds. J. Nat. Cancer. Inst., 73: 1195-1205 (1984).

28.- Edlich, R. F., Rodeheaver, G., Golden, G. T. y Edgerton, M. T.: Aspectos biológicos de las infecciones: suturas, cintas adhesivas y bacterias. Editado por Hunt, T. K. 215-219. Manual Moderno. México, D. F. 1983.

- 29.- Eckersley, J. R.: Wounds and wound healing. Br. Med. Bull., 44: 423-426 (1988).
- 30.- Fakhri, O. and Amin, M. A.: The effect of low-voltage electric therapy on the healing of resistant skin burns. J. Burn. Care. Rehabil., 68: 15-18 (1987).
- 31.- Feinberg, R. N. and Beebe, D. C.: Hyaluronate in vasculogenesis. Science, 220: 1177-1179 (1983).
- 32.- Forrest, L.: Current concepts in soft connective tissue wound healing. Br. J. Surg., 70: 133-140 (1983).
- 33.- Forrester, J. C., Hayes, T. L. and Pease, R. F.: Scanning electron microscopy of healing wounds. Nature, 221: 373-374 (1969).
- 34.- Geronemus, G. R., Mertz, M.P. and Eaglstem, H.W.: Wound healing. The effects of topical antimicrobial agents. Arch. Dermatol., 115 (11): 1311-1413 (1970).
- 35.- Grillo, H. C. and Gross, J.: Collagenolytic activity during mammalian wound repair. Dev. Biol., 15: 300-317 (1967).

36.- Gunson, D. E.: Collagen in normal and abnormal tissues. Equine Vet. J., 11: 97-101 (1979).

37.- Heimbach, D., Leterman, A., Burk, J., Cram, A., Herndon, D., Hunt, J., Jordan, M., McManus, W., Solem, L., Warden, G. and Zawachi, B.: Artificial dermis for major burns. A multicenter randomized clinical trial. Ann. Surg., 208: 313-320 (1988).

38.- Hunt, T. K.: Cicatrización e infección de las heridas. Manual Moderno. México, D. F. 1983.

39.- Jubb, K. J. F. and Kennedy, P. C.: Pathology of domestic animals. 3rd ed. Academic Press. New York. 1985.

40.- Kloth, L. C. and Feedar, F. A.: Acceleration of wound healing with high voltage, monophasic, pulsed current. Phys. Ther., 68: 503-508 (1988).

41.- Lee, A. H., Swaim, S. F., Federsoli, J. M. and McGuire, J. A.: A newly designed tensiometer. Am. J. Vet. Res., 47: 683-685 (1986).

42.- Lee, A. H., Swaim, S. F., Yang, S. T. and Wilken,

L. O.: Effects of gentamicin solution and cream on the healing of open wounds. Am. J. Vet. Res., 45: 1487-1492 (1984).

43.- Leibouich, S. J. and Ross, R.: The role of the macrophage in wound repair: A study with hydrocortisone and antimacrophage serum. Am. J. Pathol., 78: 71-100 (1975).

44.- McDonald, L. W., Pease, R. F. W. and Hayes, T.L.: Scanning electron microscopy of selected tissue. Lab. Invest., 16: 532-538 (1967).

45.- Nannmark, U., Buch, F. and Albrektsson, T.: Vascular reactions during electrical stimulation. Acta Orthop. Scand., 56: 52-56 (1985).

46.- Pratt, R. M., Larsen, M. A. and Johnstan, M. J.: Migration of neural crest cells in a free hyaluronate rich matrix. Devl. Biol., 44: 298-305 (1975).

47.- Reich, D. J. and Tarjan, P. P.: Electrical stimulation of skin. Int. J. of Dermatol., 29: 395-400 (1990).

48.- Roman, G. C., Strahlendort, H. K., Coates, D. W. and Rowley, B. A.: Stimulation of sciatic nerve regeneration

in the adult rat by low-intensity electric current. Exp. Neur., 98: 222-232 (1987).

49.- Ronald, P. G. and Russell, F.: The effect of commonly used antiseptics on wound healing. Plas. Reconstr. Surg., 55 (4): 472-476 (1975).

50.- Ross, R.: The fibroblast and wound repair. Biol. Rev., 43: 51-57 (1968).

51.- Ross, C. R. and Segal, D.: High voltage galvanics stimulation: an aid to post-operative healing. Curr. Pediatrics, 30: 12-25 (1981).

52.- Rowley, B. A., McKenna, J. M. and Chasa, G. R.: The influence of electrical current on an infecting microorganism in wounds. Am. N.Y. Acad. Sci., 238: 543-551 (1974).

53.- Ruiz, M. A.: Comparación de los efectos cicatrizantes de los campos eléctricos, el tepezcohuite (Mimosa tenuiflora), la zábila (Aloe vera) y la nitrofurazona en quemaduras de tercer grado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. México, D.F. 1986.

54.- Runnels, R.A. and Monlux, W. A.: Principios de Patología Veterinaria. Anatomía Patológica. Compañía Editorial Continental. S.A. México, 1980.

55.- Sisken, B. F., Barr, E. and Kotwick, J.: Use of the ivalon sponge model for the studying the effects of electrical stimulation on wound healing. Trans. Bioelec. Rep. Growth Soc., 8: 51 (1981).

56.- Smith, J., Romansky, N. and Vomero, J.: The effect of electrical stimulation on wound healing in diabetic mice. J. Am. Pediatrics Assoc., 74: 71-75 (1984).

57.- Steckel, R. R., Page, E. H., Geddes, L. A. and Van Vleet, J. F.: Electrical stimulation on skin wound healing in the horse: Preliminary studies. Am. J. Vet. Res., 45: 800-803 (1984).

58.- Stromberg, B. V.: Effects of electrical currents on wound contraction. Ann. Plast. Surg., 2: 121-123 (1988).

59.- Sumano, L. H. and Casaubon, T.: Evaluation of the electroacupunture effects on wound healing. Int. Conf. Vet. Acupun. ILCVA., 87: 64, Beijing, China (1987).



60.- Sumano, L. H. y López, B. G.: Acupuntura Veterinaria. Interamericana-McGraw Hill. México, D. F. 1990.

61.- Sumano, L. H., Ocampo, C. L., Gaytán, C. G. y González, V. M.: Eficacia cicatrizante de varios medicamentos de patente, la zábila (Aloe vera) y el propóleo. Vet. Mex. 18: 33-37 (1987).

62.- Thompson, R. G.: General Veterinary Pathology. W. B. Saunders. London. 1978.

63.- Toole, B. P., Biswas, C. and Cross, J.: Hyaluronate and invasiveness of the rabbit U2 carcinoma. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 76: 6299-6303 (1979).

64.- Toole, B. P. and Trelstad, R. L.: Hyaluronate production and removal during corneal development in the chick. Devl. Biol., 26: 28-35 (1971).

65.- Trigo, T. F. y Mateos, P. A.: Patología general veterinaria. 2a ed. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México, D.F. 1987.

66.- Turley, E. A., Erickson, C. A. and Tucker, R.P.:

The retention and ultrastructural appearances of various extracellular matrix molecules in corporates in three-dimensional hydrated collagen lattices. ; Devl. Biol., 109: 347-369. (1985).

67.- Viziam, C. B., Matolsty, A. G. and Milson, H.: Epithelialization small wounds. J. Invest. Dermatol. 43: - 499-507 (1964).

68.- Walker, L. H. and Masson, D. A.: A standar animal burn. J. Trauma., 18: 1049-1051 (1989).

69.- Watkins, J. P., Auer, J. A., Morgan, S. J. and Gay, S.: Healing of surgically created defects in the equine superficial digital flexor tendon: Effects of pulsing electromagnetic field therapy on collagentype transformation and tissue morphologic reorganization. Am. J. Vet. Res., 46: 2097-2103 (1985).

70.- Weiss, D. S., Eaglestein, W. H. and Falanga, V.: Pulsed electrical stimulation decreases scar thickness at split thickness graft donor sites. J. Invest. Dermatol., 92: 539 (1989).

71.- Wilson, M. F. and Schwartz, D.: Co effect implanted direct current stimulators on tensile strength of stimulated wounds. Trans. Bioelec. Rep. Growth Soc., 8: 1-22 (1981).

72.- Worlasky, E. and Prudden, F. J.: A new method of wound tensiometry. Arch. Surg., 85: 404-409 (1962).

73.- Yannas, I. V., Burke, J. F., Orgill, D. F. and Skrabut, E. M.: Wound tissue can utilize a polymeric template to synthesize a functional extension of skin. Science, 215: 174-176 (1982).

74.- Yen-Patton, A., Patton, W. F., Beer, D. M. and Jacobson, B. S.: Endothelial Cell response to pulse electromagnetic fields: stimulation of growth rate and angiogenesis in vitro. J. Cell Phys., 134: 37-46 (1988).

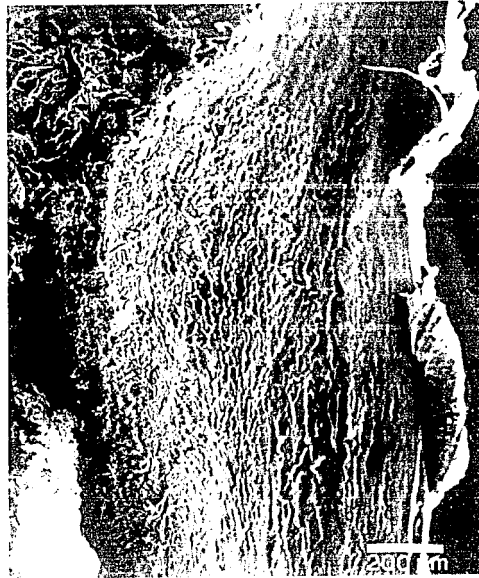


Fig. 1

Figura 1. Vistas panorámicas de la piel de rata. A) Piel normal (70x). B) Piel electroestimulada (70x), las flechas muestran vasos neoformados de calibre considerable. C) Piel con yodo polivinil-pirrolidona (80x). D) Piel sin tratamiento.



Fig. 2

Figura 2. Micrografías electrónicas. A) Piel normal (700x), todos los paquetes están bien unidos, el espacio entre ellos esta libre y no hay entrecruzamientos. B) Piel electroestimulada (700x), se forman paquetes de diferentes grosores, hay diversidad de direcciones y el espacio entre los paquetes es menor que en A; hay poco entrecruzamiento. C) Piel con yodo p-p (700x), los paquetes son de diferentes espesores, diversas direcciones y entrecruzamientos mayores; los paquetes se disponen en -capas, señaladas por las flechas. D) Piel sin tratamiento (280x), los paquetes son pequeños y la dirección es menos diversa; las flechas señalan los entrecruzamientos, que son mayores.



Fig. 3



Figura 3. Micrografías electrónicas. A) Piel normal. B) Piel electroes timulada. C) Piel con yodo p-p. D) Piel sin tratamiento (750x, 500x, -- 1000x, 1000x respectivamente). Comparense las direcciones de los paquetes (indicadas por las flechas).



Fig. 4

Figura 4. Micrografiás electrónicas. A) Piel normal. B) Piel electroestimulada. C) Piel con yodo p-p. D) Piel sin tratamiento. Todas a 1400x. Obsérvese y compare la disposición de los paquetes, dirección y relación entre sí.



Fig. 5

Figura 5. Micrografías electrónicas. A) Piel normal (7000x). B) Piel -- electroestimulada (2800x); en los paquetes se aprecian las microfibrillas bien unidas entre sí, formando paquetes compactos. C) Piel con yodo p-p; se observa que las microfibrillas no están bien unidas, por lo que los paquetes son más dispersos (4900x). D) Piel sin tratamiento (2800x); el entrecruzamiento de las microfibrillas es notorio, por lo que los paquetes no se definen bien.



Fig. 6

Figura 6. Micrografías electrónicas. A, B, y C piel electroestimulada (350x, 700x y 2800x). La gran cantidad de vasos y capilares neoformados es evidente en éstas (señalados por las flechas), además obsérvese la relación con los paquetes. D) Piel sin tratamiento (2800x); solo se observaron vasos neoformados en una muestra.



Fig. 7



Figura 7. Micrografías electrónicas. A) Corte transversal de piel normal, donde se observan numerosas células descamadas en la superficie. - Los paquetes de colágena se distribuyen homogéneamente y hacia varias di-recciones (240x). B) Piel electroestimulada donde se aprecian una cuan-tas células en inicio de descamación; los paquetes de colágena son peque-ños pero homogéneos.

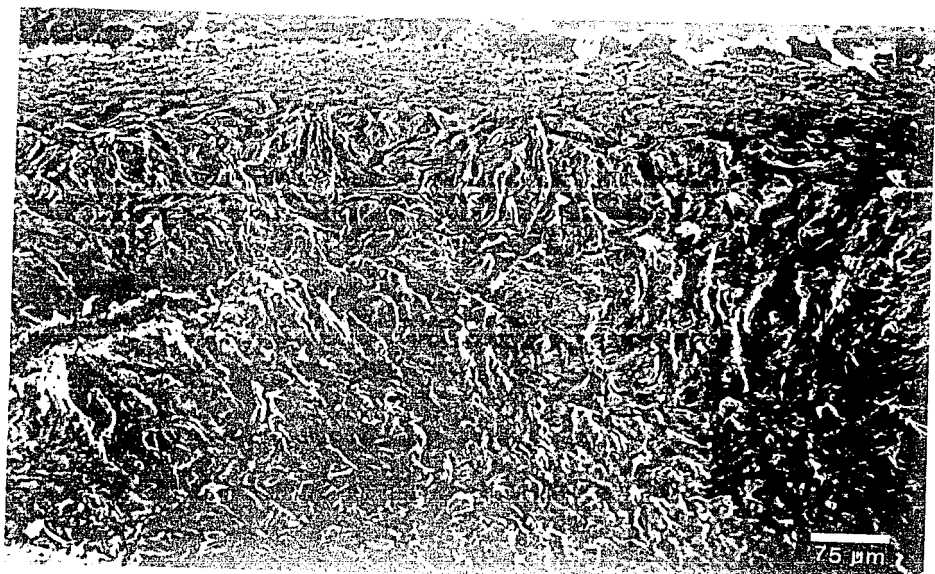
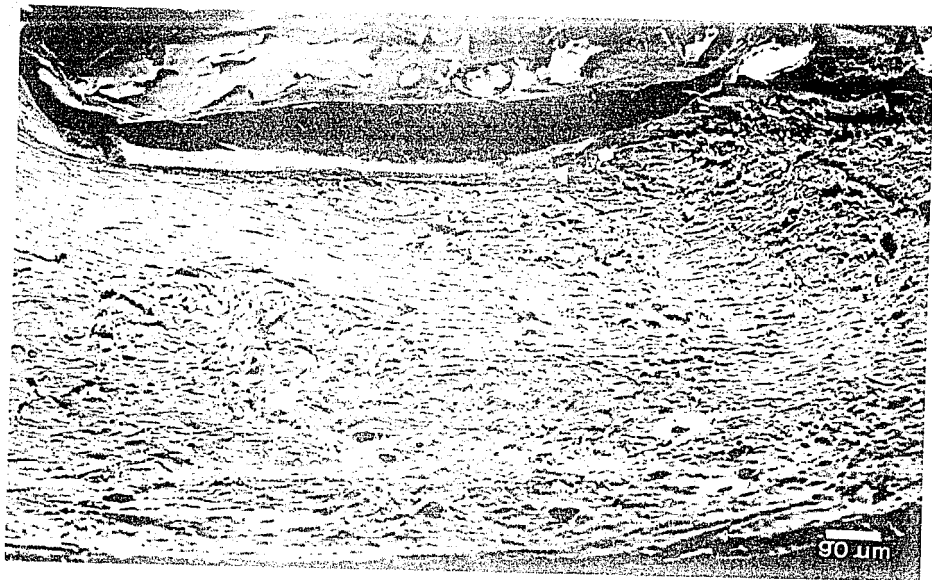


Fig. 8

Figura 8. Micrografías electrónicas. A) Piel con yodo p-p (110x); B) Piel sin tratamiento (200x). En ambas, los paquetes de colágena no se definen en orden ni en forma, además no se observan células descamadas.



Fig. 9

A. Reepitelialización unilateral, abundante infiltración leucocitaria. Tejido de granulación desorganizado, notable infiltración por debajo del epitelio neoformado por macrófagos y neutrófilos (A- HyE, 17x; B-T. Mason, 17x).



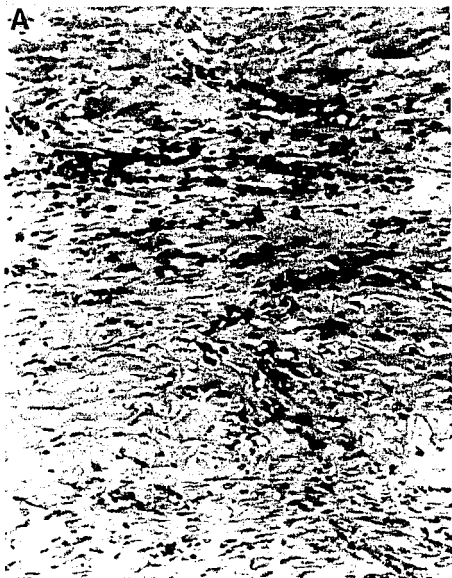
**Fig. 10**

A y B. Piel sin tratamiento. En A se observa gran cantidad de infiltración leucocitaria, capilares y fibroblastos (H y E 41x). En B los paquetes de colágena de unen en "ramas" (T. Mason. 165x).



Fig. 11

A. Piel tratada con yodo p-p. Epitelialización unilateral, infiltración leucocitaria superficial por polimorfonucleares, neutrófilos y macrófagos, colágena no organizada (T. Mason. 17x). B. Piel tratada con yodo p-p. Epitelialización unilateral, tejido de granulación subdérmico no organizado y ligera infiltración leucocitaria (HyE. 17x).



**Fig. 12**

A. Piel tratada con yodo p-p. Poca organización del tejido de granulación (HyE. 41x). B. Piel tratada con yodo p-p. Los paquetes de colágena se disponen en "ramas" (T. Mason. 82x).

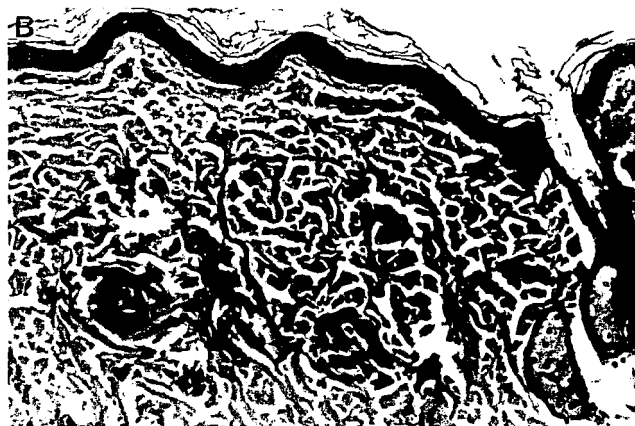
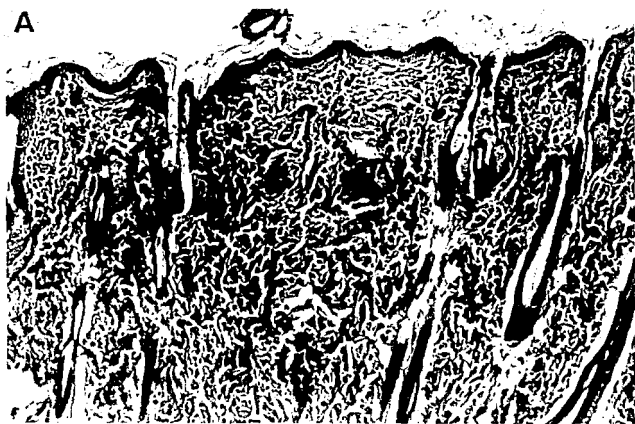


Fig. 13

A y B. Piel electroestimulada. Regeneración en más del 90% hay formación de folículos pilosos, glándulas sudoríparas, sebáceas, descamación. (HyE. 41x y 17x).



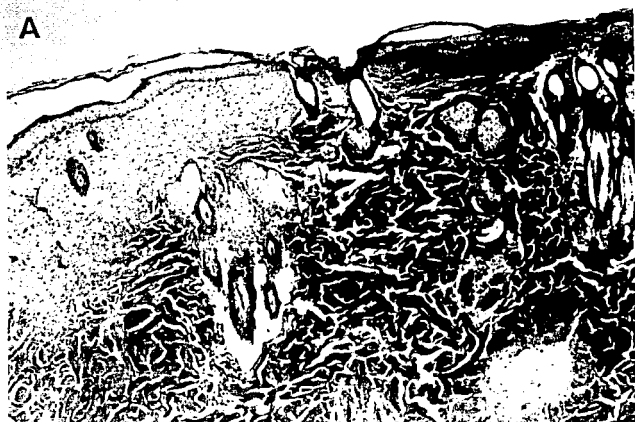
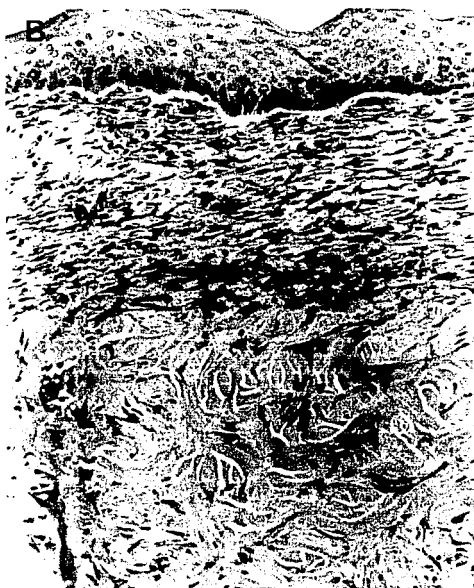


Fig. 14

A y B. Piel electroestimulada. La superficie de la subdermis aún tiene restos de infiltrado leucocitario, pero ya hay folículos pilosos y glándulas sebáceas (A, T. Mason 17x. B, T. Mason 17x).



**Fig. 15**

A. Piel electroestimulada. Los paquetes de colágena se encuentran separados y bien definidos (T. Mason. 82x). B. Piel electroestimulada. Zona de infiltración leucocitaria, con epitelio neoformado completo (HyE. 41x).

Grupo	Densidad de colágena	Grosor de paquetes	Relación entre paquetes	Acomodo de los paquetes	Formación de vasos	Infección	Sup. de la herida	Relación entre microfibrillas
Electroes timulado.	Densa	Homogéneo	Ligeramente separados y con pocas fibrillas entre los espacios.	Dirección variable, con orden.	Bastante	Nula	Con inicio de descamación.	Sin entrecruzamientos.
Yodo polivinil-pirrolidona.	Regular	Variable	Muy juntos y con muchas microfibrillas entre ellos.	Dirección variable pero sin orden.	No se observaron.	Nula	No se observaron células descamadas.	Ligeramente entrecruzadas.
Sin tratamiento.	Poco densa	Muy variable	Desordenados, con muchas fibrillas y entrecruzamientos.	Pocas direcciones y sin orden	Sólo se observaron en 1 muestra.	3 muestras en la superficie.	Con escara deforme.	Entrecruzadas.
Normal.	Muy densa	Muy homogéneo.	Ligeramente separados y sin fibrillas entre ellos.	Dirección variable, pero ordenado.	Nulo	Nula	Con abundantes células descamadas.	Sin entrecruzamientos.

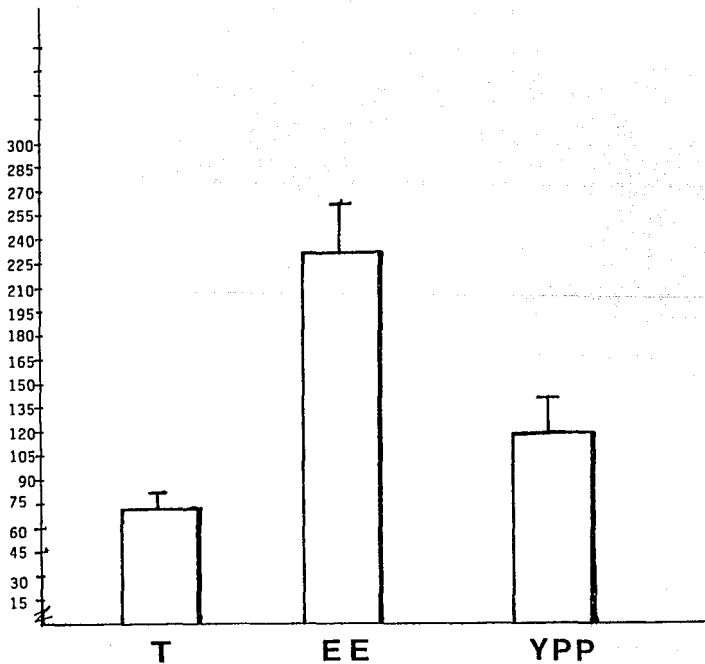
CUADRO 1. Análisis de las observaciones realizadas en microscopía de barrido.

<u>MEJORA:</u>	<u>ELECTROESTIMULADA</u>	<u>YODO POLIVINIL-PIRROLIDONA</u>	<u>SIN TRATAMIENTO</u>
<u>INFILTRAC. LEUCOCITARIA</u>	Escaza, en las tres muestras. Ligera infiltración de melanina.	Abundante infiltración a todos niveles, principalmente de macrófagos; neutrófilos y polimorfonucleares en la superficie.	Infiltración ligera de macrófagos; polimorfonucleares superficialmente.
<u>NOBFORM. DE VASOS.</u>	Abundante en una muestra. En las otras no se observaron, por aparentar normalidad.	Abundante en todas las muestras.	Regular.
<u>NECROSIS</u>	Nula.	Presente en la superficie de 2 muestras.	Presente en la superficie de 1 muestra.
<u>REPTILIZACION.</u>	Completa.	Marginal. Bilateral incompleta.	Bilateral incompleta. Bilateral incompleta bien organizada.
<u>ORGANIZACION DE COLAGENA.</u>	Sin cambios.	Grandes paquetes "en ramas". Poco definidos.	Grandes paquetes en "ramas". Poco definidos.
<u>FORMACION DE GLANDULAS Y CIBROS.</u>	Formación de glándulas sudoríparas y sebáceas.	Nulo.	Nulo.

CUADRO 2. Análisis de las observaciones realizadas en microscopía de luz.

	RATA	TESTIGO	ELECTROESTIM.	YODO POLIVINIL-P.
	1	80	260	125
	2	75	280	110
	3	60	220	115
	4	85	225	140
	5	65	205	135
	6	75	200	85
X ±	D.E.	73.3	231.6	118.33
	D.S.	9.3	31.7	19.9

**CUADRO 3.** Valores tensiométricos de piel con quemaduras de 2<sup>a</sup> grado sometidas a electroestimulación y tratamiento con yodo polivinil-pirrolidona. Los valores son expresados en mm de Hg de presión, de acuerdo con lo sugerido por Worlasky y Prudden (76).



REFERENCIA	MODELO	DENSIDAD DE CORRIENTE*	POLARIDAD	DURACION DEL CICLO/ OSCILACION	TRATAMIENTO (HORAS/DIAS)	RESULTADO (MEDIDA)	MECANISMO PROPUESTO
Bolton (1980)	Humanos	0.010	+	Continuo	20/1	Dismin. Bact. c/+ polarid.	
Bolton (1981)	Cerdos	0.020	+	Continuo	20/1	Electrodo de Cu; ! bact.	
Wilson (1981)	Guinea Ratas	1.58	+	Continuo	24/8	Sin efecto en fuerza de tens.	
Alvarez (1983)	Cerdos	0.004	-	Continuo	24/7	! 29% tiempo de cicatriz. de fibrobl = ! 109% coláge. sint. d/colág	Incremento de actividad de fibrobl = sint. d/colág
Smith (1984)	Ratones	0.246	-	Continuo	24/50	! 40% fuerza de tensión.	Estim y mejor potencial de memb. de piel
Steckel (1984)	Ratones diabét. Caballos	0.246	-	Continuo	24/50	Sin efecto	La inser. del polo produce infección.
Barron (1985)	Humanos	0.540	T	0.5Hz bifásica	1/9	! 92% tamaño de úlceras	Mejorar potencial y ! iones
Nanmark (1985)	Roedores	1.61	+	Continuo	1.3/1	Todos los mo delos y vas cularidad.	
Fakhri (1987)	Roedores	1.61	-	Continuo	1.3/1	! cicat. de injert. en piel y quemad.	Mejora el potencial y dismin bact.
	Roedores	0.645RMS	AC	Curva en seno	1.3/1	! 36% fuerza de tensión	La estimulación inicial mejoró el potenc de ext-tac de piel, desp lo retardó
	Humanos	3.60	T	Continuo	0.2/14-90	! 30% tiempo de cicatriz.	
Brown (1987)	Conejos	0.011 PK	-	0.80% en diene de sierra.	4/4	! 56.4% velocidad de cicatriz	
	Conejos	0.011 PK	-	0.80% en diene de sierra	4/7	! 19% colágena	
Kloth (1988)	Humanos	0.168	+/-	1.05% pulsos cuadrados	0.75/37	! 30% vascular.	
Sisken (1988)	Ratas	0.574RMS	AC	Continuo	24/21	! 40% tamaño de la herida	
Stromberg (1988)	Ratas	0.574RMS	AC	Pulsante 50%	12/21	! 35% tamaño de la herida	
	Cerdos	0.338	+/-	1.28% pulsos cuadrados	1/14	! 54% cicatric que loides	
Weiss (1989)	Humanos	0.514	+	1.28% pulsos cuadrados	1/14	! 19.3% vel de cicatrización	
Davis (1989)	Humanos	0.514	+	1.92% pulsos cuadrados	1/7	! 8.3% vel de cicatrización	
	Cerdos	0.502	-/+	1.79% pulsos cuadrados	1/7	! Velocidad de cicatrización y mejor colágena	
Castillo (1991)	Cerdos	0.502	+	1.79% pulsos cuadrados	1/7		
	Ratas	0.1	T	.4 en espiga	.33/20		

+. El electrodo activo está sobre la herida. -. El electrodo activo está de regreso. T. La herida esta entre ambos electrodos (tangencial). AC. Los electrodos activos se alternan.

\*. (mA/cm<sup>2</sup>).

**TABLA 1.** Características de electroestimulación y resultados de experimentos propuestos por Reich y Tarjan (47).

NÚMERO DE ESTUDIO	POLARIDAD	PARÁMETROS DE TRATAMIENTO. (DENSIDAD DE CORRIENTE, HORAS DÍAS).
1.- Bolton <sup>8</sup>	Negativa	0.01mA/cm <sup>2</sup> , 20, 1.
2.- Nannmark <sup>45</sup>	Negativa	1.61mA/cm <sup>2</sup> , 1.3, 1.
3.- Brown <sup>14</sup>	Negativa	0.011mA/cm <sup>2</sup> , 4, 4.
4.- Alvarez <sup>3</sup>	Negativa	0.004mA/cm <sup>2</sup> , 24, 7.
5.- Brown <sup>10</sup>	Negativa	0.011mA/cm <sup>2</sup> , 4, 7.
6.- Bolton <sup>9</sup>	Negativa	0.02mA/cm <sup>2</sup> , 24, 8.
7.- Stromberg <sup>58</sup>	Negativa	0.338mA/cm <sup>2</sup> , 1, 14.
8.- Smith <sup>56</sup>	Negativa	0.246mA/cm <sup>2</sup> , 24, 50.
9.- Stromberg <sup>58</sup>	Alterna	0.338mA/cm <sup>2</sup> , 1, 14.
10.- Davis <sup>23</sup>	Alterna	0.502mA/cm <sup>2</sup> , 1, 7.
11.- Kloth <sup>40</sup>	Alterna	0.168mA/cm <sup>2</sup> , 0.75, 37.
12.- Bolton <sup>8</sup>	Positiva	0.01mA/cm <sup>2</sup> , 20, 1.
13.- Nannmark <sup>19</sup>	Positiva	1.61mA/cm <sup>2</sup> , 1, 7.
14.- Weiss <sup>74</sup>	Positiva	0.249mA/cm <sup>2</sup> , 1, 7.
15.- Davis <sup>23</sup>	Positiva	0.502mA/cm <sup>2</sup> , 24, 28.
16.- Bolton <sup>9</sup>	Positiva	0.02mA/cm <sup>2</sup> , 24, 28.
17.- Wilson <sup>75</sup>	Positiva	6.31mA/cm <sup>2</sup> , 24, 28.
18.- Castillo	Bipolar	0.1mA/cm <sup>2</sup> , .33, 20.

**TABLA 2.** Estudios comparados en las figuras 16 y 17.

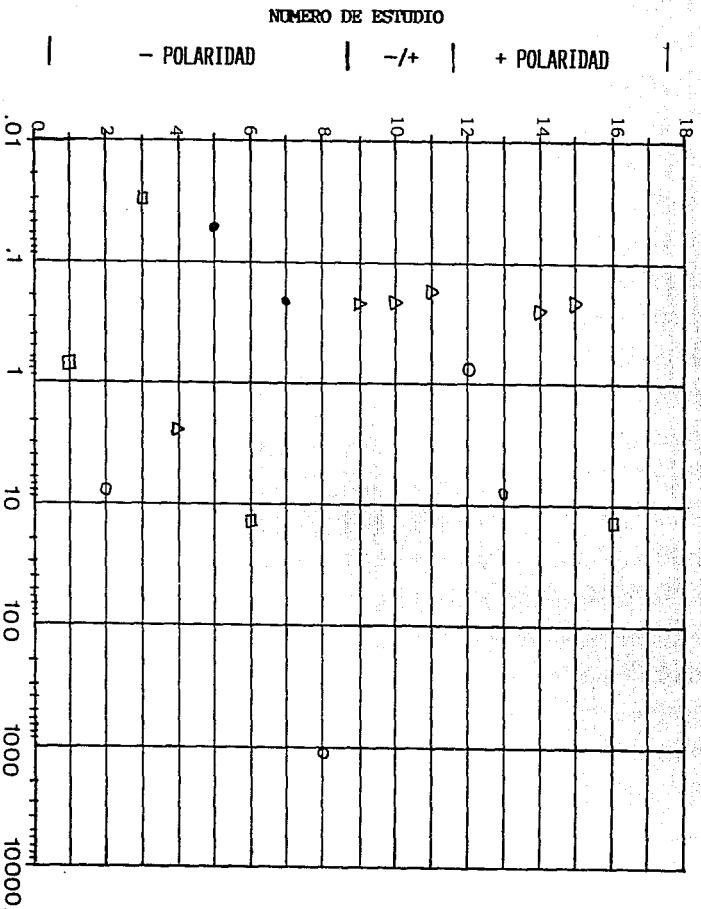
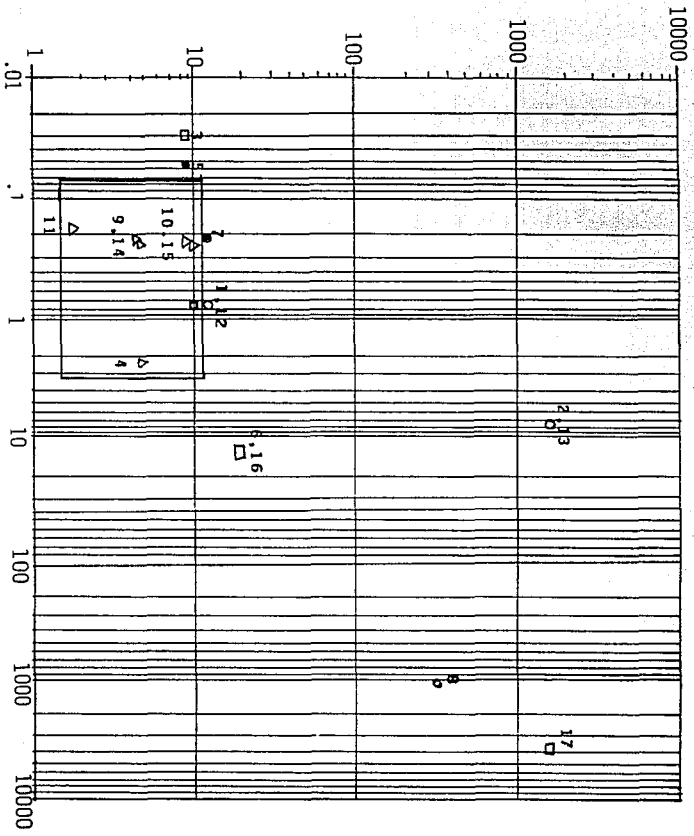


FIGURA 16. Comparación de DC y estudios pulsables por polaridad y carga transferida. Ver tabla 2. ●: Efecto adyverso; □: sin efecto; ○: Efectivo; △: Altamente efectivo.



DENSIDAD DE CORRIENTE EFECTIVA.  
(MICROAMPERES/Cm<sup>2</sup>).



DENSIDAD DE CARGA ABSOLUTA TRANSFERIDA.  
(COULOMBES/Cm<sup>2</sup>)

Figura 17. Dosificación efectiva óptima: Densidad de corriente vs. densidad de carga absoluta transferida. Ver tabla 2.  
● Efecto adverso; □: sin efecto; △: Altamente efectivo;  
▭: Región de mayor efectividad.

